

УДК 622.8:550.83

**ОПЫТ ИЗУЧЕНИЯ ГЕОФИЗИЧЕСКИМИ МЕТОДАМИ
СОСТОЯНИЯ ТЕХНОГЕННЫХ ПУСТОТ В ЗОНЕ
ПОДРАБОТКИ Ш. «РОДИНА» ОАО
«КРИВБАССЖЕЛЕЗРУДКОМ»**

**Туманов В. В., Юфа Я. М., Хлюстов Н. В.,
Ялпуга Е. А.**

(УкрНИИМИ НАНУ, г. Донецк, Украина)

Встановлено стан поверхні гірничих виробок в кристалічному масиві і ціликів між сусідніми виробками. Виявлено характер техногенних змін в масиві покриваючих виробку порід.

Set the position of the surface of the mine workings in the crystalline massif and the blocks between neighbouring mines. The character of man-caused changes in the array covering elaboration of rocks.

Для гарантированной безопасности эксплуатации ответственных объектов народного хозяйства, особенно при их расположении в зоне подработки, тщательно изучаются горно-геологические условия их расположения с применением обширного комплекса различных видов исследований. При решении конкретных задач, связанных с изучением особенностей строения, свойств и состояния массива горных пород, закономерностей изменения их важнейших физико-механических характеристик в зависимости от различных природных и техногенных факторов, а также процессов, происходящих в массивах и сооружениях во время их взаимодействия, в настоящее время успешно применяются геофизические методы. С их помощью учитывается роль неоднородностей и различного рода нарушений геологической среды в ее естественном состоянии, что нередко коренным образом меняет представление об инженерно-геологической характе-

ристике массива, полученной в результате лабораторных измерений на образцах и проведения полевого геотехнического опробования в отдельных точках геологической среды.

В этом контексте следует заметить, что к концу 90-х годов прошлого века четко определилась роль геофизики как одного из ведущих методов при изучении физико-механических и водно-физических свойств горных пород (геологической среды), используемых при геотехнических расчетах устойчивости сооружений. При этом водно-физические свойства ближе всего связаны с электрическими параметрами, а физико-механические - с сейсмическими.

Электроразведочные методы дают возможность:

- картирования тектонических нарушений и зон повышенной трещиноватости в коренных породах;
- литологического расчленения осадочных пород;
- выделения тектонической нарушенности и зон повышенной трещиноватости;
- выделения водоупорных и водопроницаемых слоев горных пород в плане и в вертикальном разрезе;
- определения уровней залегания подземных вод и мощности водоносных горизонтов; изучения динамики подземных вод (направления и скорости потока).

Сейморазведочные методы позволяют решать задачи:

- определения глубины залегания кровли кристаллических пород, их блочности и мощности зоны выветривания;
- картирования тектонических нарушений и зон повышенной трещиноватости в коренных породах;
- литологического расчленения осадочных пород, выделения тектонической нарушенности и зон повышенной трещиноватости;
- расчета динамических упругих параметров осадочных пород по литологическим слоям (коэффициент Пуассона, модуль упругости, модуль сдвига, модуль всестороннего сжатия).

Рассмотрим пример решения методами наземной геофизики задач, связанных с исследованием состояния выработанного пространства и перекрывающего его породного массива на Криво-рожском железорудном месторождении [1].

Автодорога Техбаза - кладбище «Западное» на участке длиной 500 м проходит над выработанным пространством шахты «Родина». В результате разработки рудной залежи на земной поверхности образуются зоны воронок и провалов, террас, трещин и плавных сдвижений. В настоящее время на земной поверхности образовалась мульда сдвижений без видимых трещин. Поскольку достоверные сведения о состоянии подработанной толщи пород и пустот под автодорогой отсутствовали, для предотвращения аварийной ситуации возникла необходимость привлечения геофизической разведки подработанного массива горных пород.

Основной целью геофизических работ являлось выявление местоположения и размеров техногенных пустот в массиве горных пород под участком автодороги Техбаза - кладбище «Западное» в зоне подработки ш. «Родина» ОАО «Кривбассжелезрудком», а также оценка состояния породного массива над выработанным пространством.

Наиболее значимые результаты получены в итоге обработки данных сейсморазведки МОГТ на продольных волнах на профилях 1 и 2. Построены динамические глубинные разрезы ОГТ с сохранением пропорций в горизонтальном и вертикальном масштабах (рис. 1).

Разрезы построены от линии приведения с абсолютной высотой отметкой $H_{\text{абс}} = +70$ м. На участке наблюдений угол падения разрабатываемых пластов составляет около 45° . Профиль 1 пройден в направлении, близком к направлению восстания пластов, профиль 2 – в направлении, близком к направлению простирания пород. На разрезах отчетливо наблюдаются участки, связанные с возникновением отраженно-дифрагированных продольных волн как на поверхности выработанного пространства, так и на поверхности формирующихся в кровле выработки зон ослабленных пород – зарождающихся куполов обрушения. При совместном рассмотрении разрезов (рис. 2) видно хорошее совпадение кровли выработок, формы и положения куполов обрушения, тектонических нарушений. пород – зарождающихся куполов обрушения. При совместном рассмотрении разрезов (рис. 2) видно хорошее совпадение кровли выработок, формы и положения куполов обрушения, тектонических нарушений.

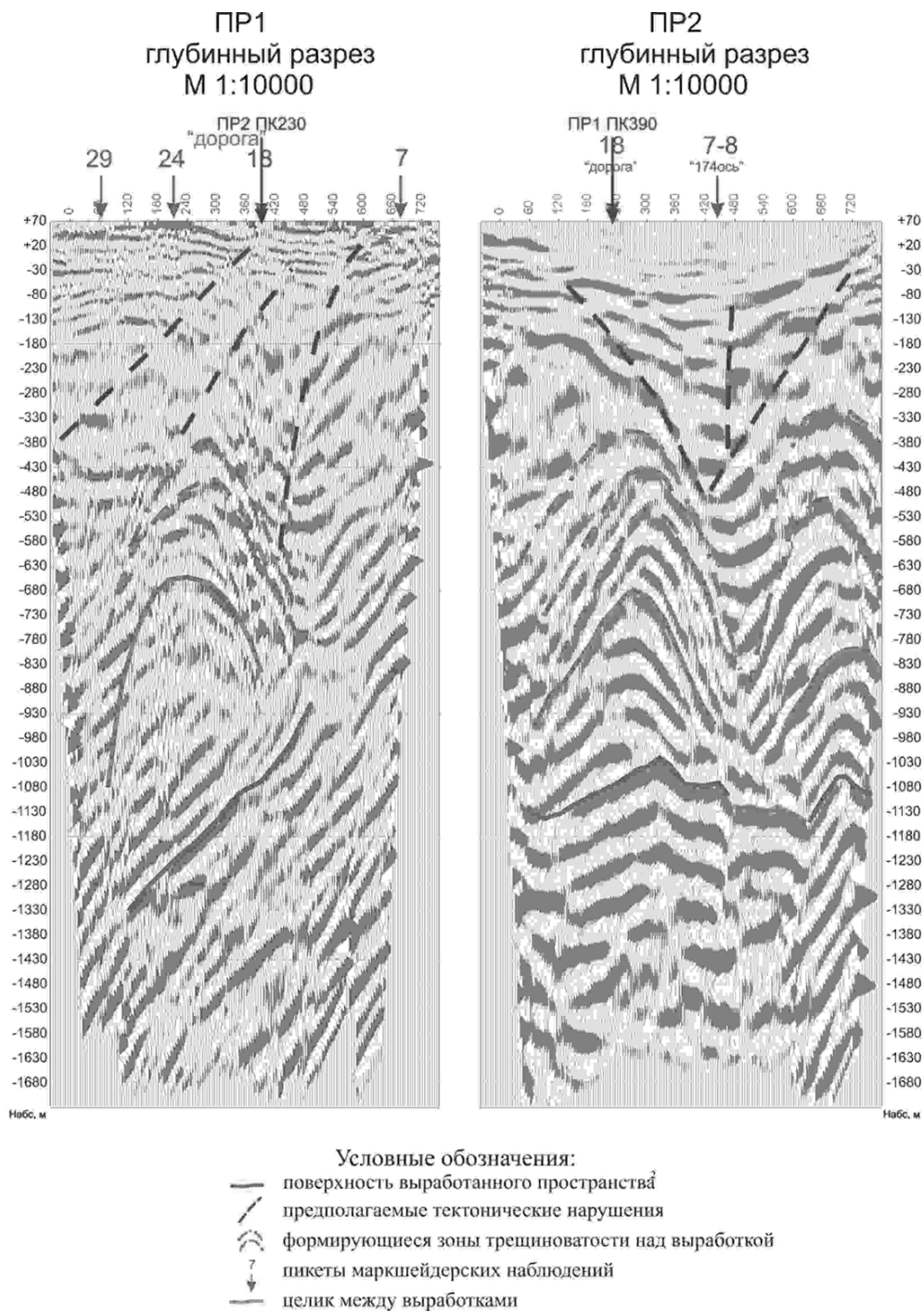


Рис. 1. Динамические глубинные разрезы ОГТ. Профили 1, 2

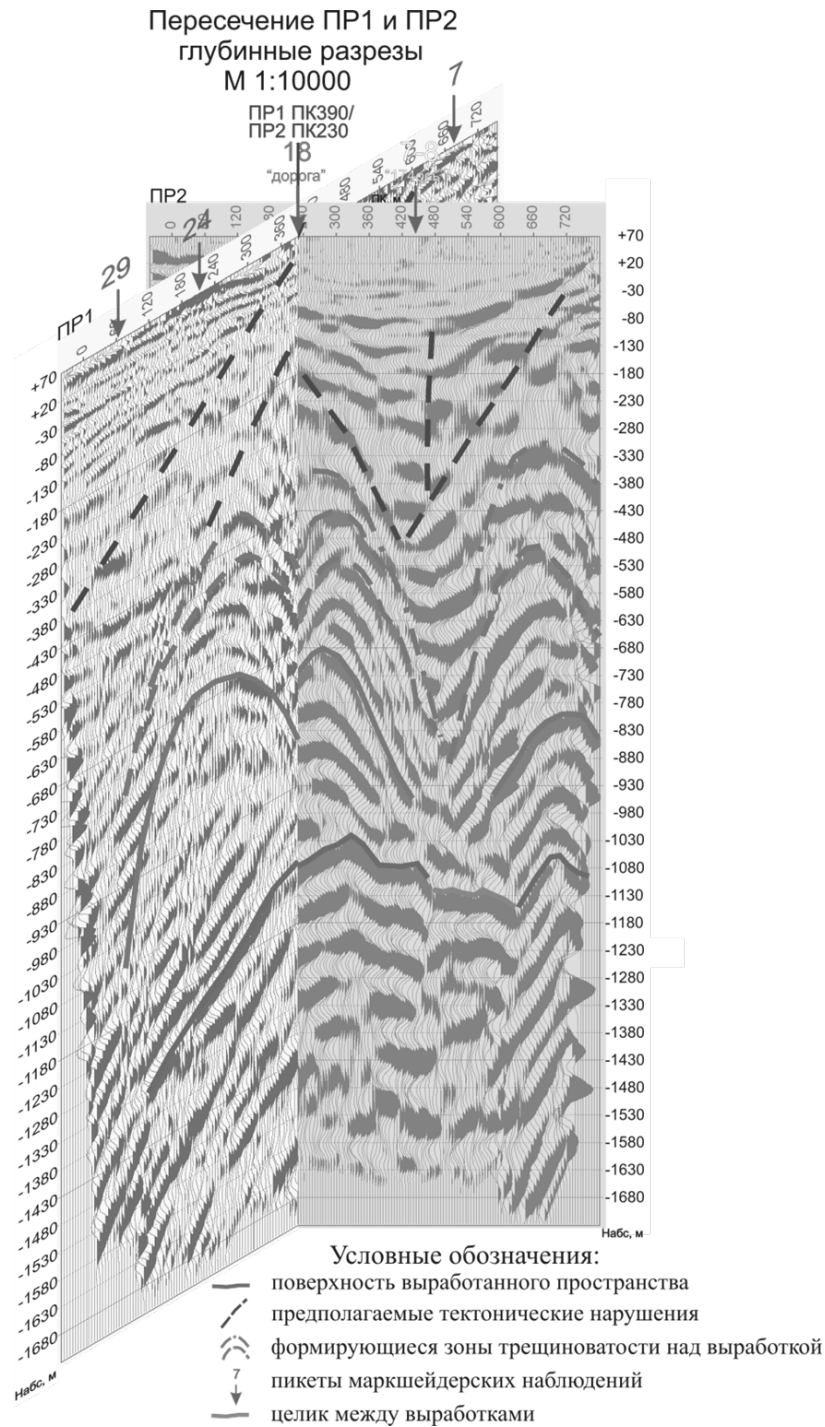


Рис. 2. Сопоставление динамических глубинных разрезов ОГТ по профилям 1, 2

Из рисунков видно, что при столь больших углах наклона границ отражающие объекты совпадают на пересечении профилей строго по вертикали, тогда как точки отражения от наклонной плоскости на пересечении профилей должны находиться на

нормали к отражающей плоскости. Это явление объясняется тем, что выделившиеся на разрезах поверхности имеют сложную неправильную форму, что приводит к рассеянию «зеркальных» отражений. При этом поверхности неоднородностей массива – такие, как поверхность выработанного пространства, поверхности куполов обрушения, - представляют собой ансамбли дифрагирующих объектов. Возникающие на таких «точках» источники дифрагированных волн, находящиеся в плоскости вертикальной проекции линии профиля, создают наиболее благоприятные условия для суммирования по принципу общей глубинной точки. Таким образом, все дифрагирующие объекты, наблюдаемые на разрезе ОГТ, следует рассматривать как объекты, находящиеся в вертикальной плоскости разреза ОГТ непосредственно на трассах, на которых они проявились.

Граница, соответствующая кровле выработанного пространства шахты «Родина», наблюдается на обоих разрезах. На ПР1 она прослеживается в интервале ПК120 ($H_{abc} = -1333$ м) – ПК490 ($H_{abc} = -908$ м). Видимые углы падения кровли выработки в плоскости разреза составляют от 44° до 57° в сторону меньших пикетов. На профиле 2 данная граница прослеживается в интервале ПК55 ($H_{abc} = -1120$ м) – ПК475 ($H_{abc} = -908$ м). Видимые углы падения кровли выработки в плоскости разреза имеют разное направление (поскольку плоскость разреза пересекает выработку в направлении, близком к направлению простирания продуктивного пласта) и варьируют на коротких участках от 4° до 52° .

Участок профиля 2 ПК475 – ПК625 соответствует целику, находящемуся между выработанными пространствами шахты «Родина» и ШУ ОАО «Арселор Миттал Кривой Рог». То, что на данном участке профиля действительно прослеживается невыработанное рудное тело, подчеркивает инверсия фаз относительно границы над выработанным пространством – эффект, возникающий при инверсии скоростей в массиве, в данном случае, над заполненной водой выработкой. От ПК625 в сторону увеличения пикетов до конца профиля 2 в интервале абсолютных высотных отметок от $H_{abc} = -1057$ до $H_{abc} = -1152$ видна граница, соответствующая кровле выработанного пространства.

На профиле 1 над выработанным пространством в интервале ПК70 – ПК465 отчетливо наблюдается куполообразная структура, по всей вероятности, представляющая собой формирующийся купол обрушения. Вершина купола соответствует ПК 280 профиля 1 и находится на уровне $H_{abc} = -375$ м, то есть, на глубине порядка 470 м от дневной поверхности. Эта же структура в другой проекции выделяются и на профиле 2: в районе ПК65 – ПК470, вершина купола соответствует ПК 265 профиля 2 и находится на уровне $H_{abc} = -358$ м, то есть, на глубине порядка 450 – 452 м.

В районе ПК505 – ПК780 (выходит за пределы профиля) над выработанным пространством шахты ШУ ОАО «Арселор Миттал Кривой Рог» вершина купола соответствует ПК 675 профиля 2 и находится на уровне $H_{abc} = -310$ м, то есть, на глубине порядка 405 м.

Внутри описанных куполов наблюдаются по несколько подобных куполообразных структур, нависающих одна над другой. Поскольку данные образования имеют относительно симметричную «правильную» форму, можно предположить, что до настоящего момента в пределах площади проведенных исследований катастрофических обрушений на уровне вершин куполов не происходило. Но, учитывая развитие во времени данных структур, о чем говорит многослойное строение куполов, постоянное проседание земной поверхности, а также наличие над куполами, как минимум, трех тектонических нарушений, имеющих, по всей вероятности, техногенное происхождение, можно сделать вывод, что такие обрушения будут неизбежны.

На разрезах ОГТ прослеживаются три пересекающиеся между собой тектонических нарушения, которые достаточно уверенно коррелируются между профилями 1 и 2 (см. рис. 2). При этом отчетливо видно, что смещение и разрывы осей синфазности проявляются не только в кристаллических породах, но затрагивают и перекрывающие их глины. Вполне вероятно, что это явление связано с техногенными изменениями в породном массиве.

Перенос автодороги на пространство над целиком между выработками шахты «Родина и » и ШУ ОАО «Арселор Миттал Кривой Рог» не дает уверенности в полном решении проблемы, поскольку процессы формирования куполов обрушения, как вид-

но на разрезах ОГТ, явно затрагивают пространство над целиком. Учитывая наличие над целиком нескольких тектонических нарушений – их количество, несомненно, превышает обнаруженные три нарушения, это только наиболее контрастные из них, - возникает большая опасность того, что при катастрофическом обрушении на борту целика, могут активизироваться нарушения над целиком, что вызовет подвижки и в этой части породного массива.

По результатам обработки данных сейсморазведки КМПВ по профилям 1 и 2 построены глубинные томографические разрезы, характеризующие распределение в массиве скоростей продольных (V_p) и поперечных (V_s) волн, а также разрезы соотношения V_s/V_p (рис. 3, 4).

В связи с изменениями, вызванными проседанием пород над выработанным пространством, характер распределения скоростей продольных и поперечных волн в осадочных породах и в верхней части кристаллического массива – до глубины порядка 200 – 300 м, – утрачивает выраженную слоистость и приобретает черты градиентного увеличения скоростей распространения упругих волн с глубиной. В связи с этим расчленение сейсмогеологического разреза на слои, как в области осадочного чехла, так и в верхней части толщи метаморфических пород, выглядит до некоторой степени условным. Осадочный чехол сложен, в основном, четвертичными глинами, скорости V_p в которых изменяются в значительной степени за счет изменения содержания в них влаги. В большей степени это относится к профилю 2, значительная часть которого находится над выработкой, что приводит к выраженным изменениям первоначального распределения скоростей V_p и V_s в осадочных породах за счет проседания массива. Тем не менее, при тщательном изучении волновой картины, можно выделить параллельные участки нагоняющих и нагоняемых годографов, которые позволяют разделить массив на относительно однородные (в плане распределения скоростей продольных и поперечных волн) слои. Эти слои далеко не всегда совпадают для продольных и поперечных волн.

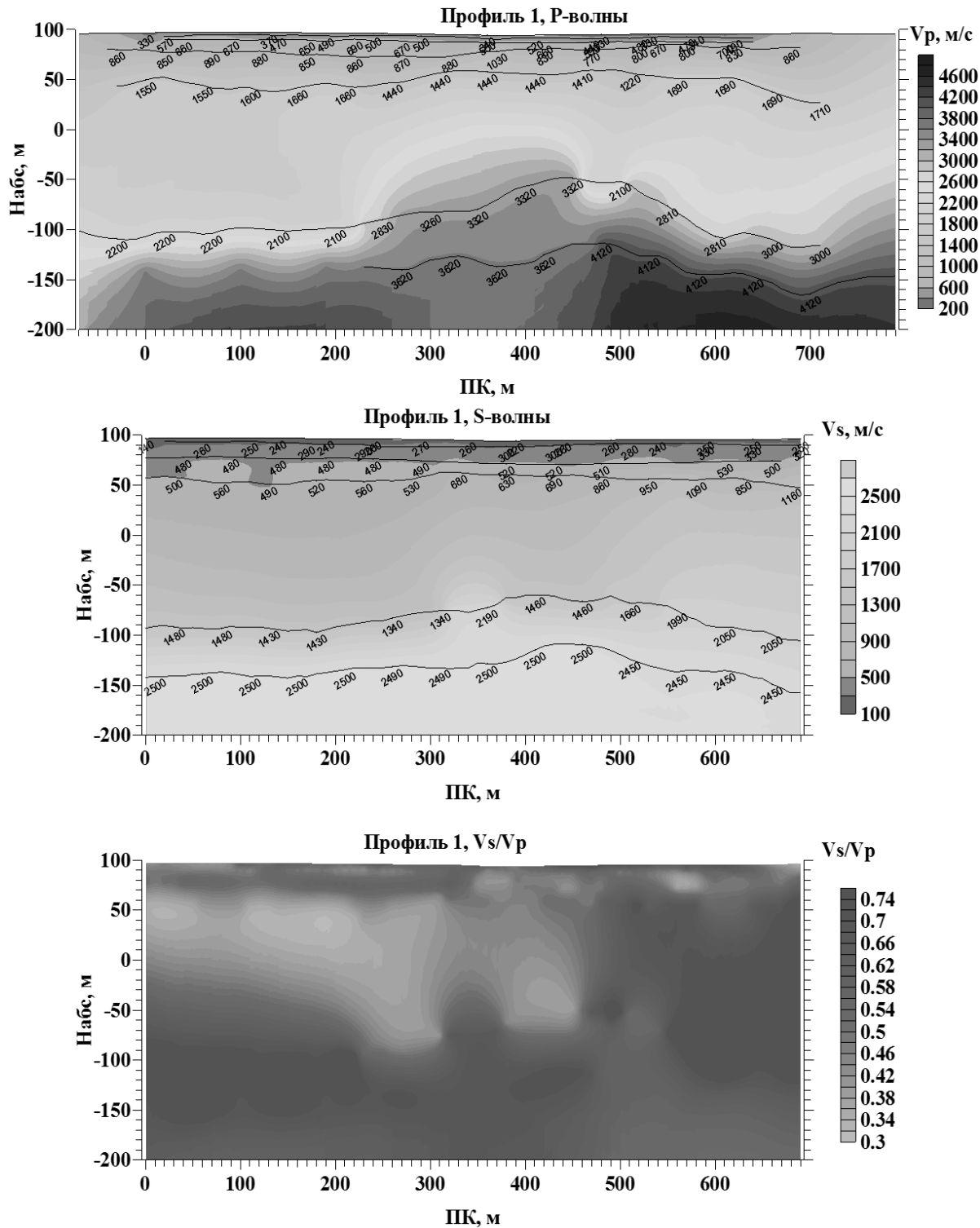


Рис. 3. Глубинные томографические разрезы КМПВ по профильной линии «Дорога» (профиль 1)

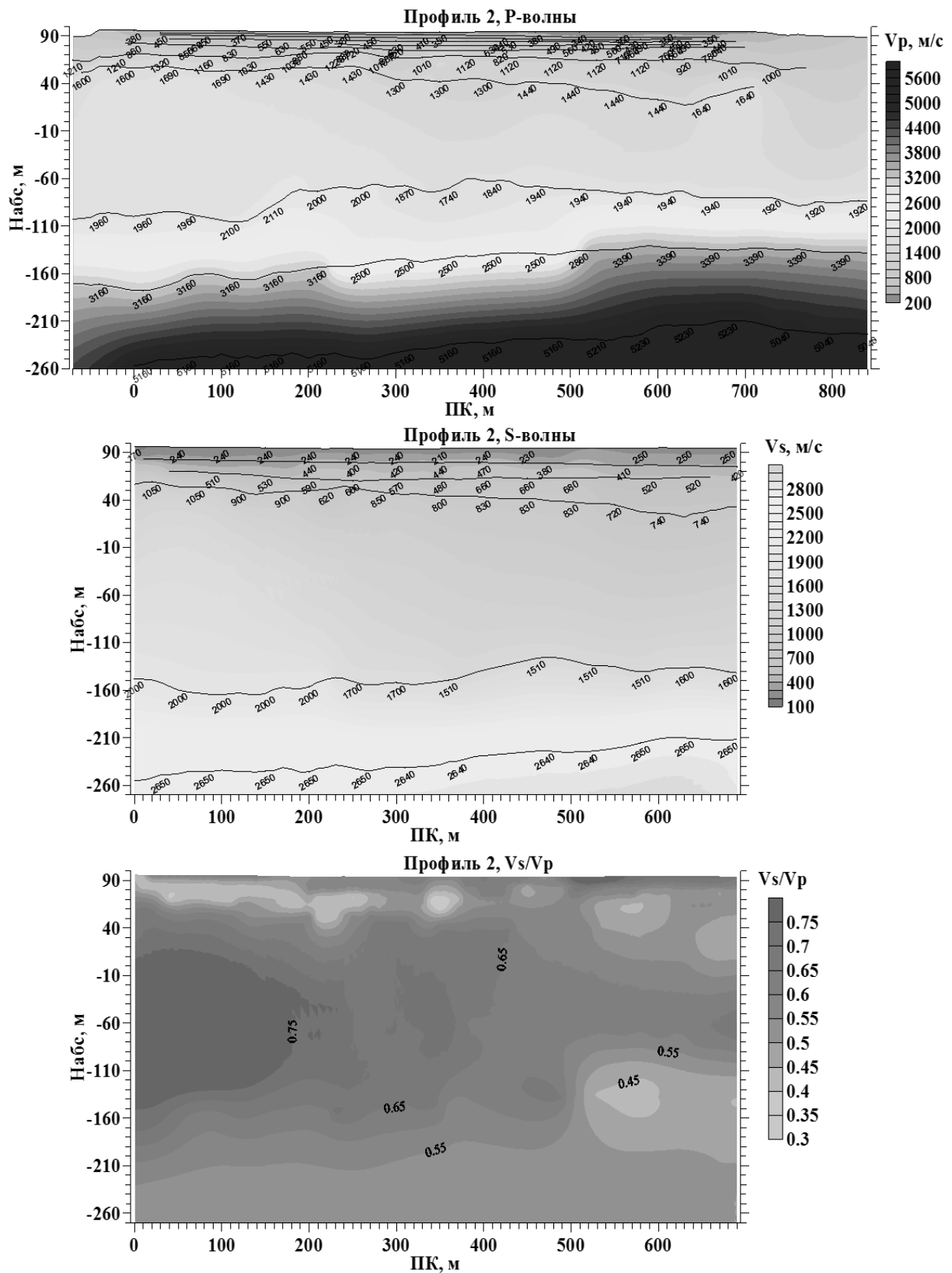


Рис. 4. Глубинные томографические разрезы КМПВ по профилю 2

С некоторой степенью условности разрез по данным КМПВ можно разделить на шесть слоев.

Первый от дневной поверхности слой включает в себя почву и суглинки. Скорости V_p в слое изменяются в пределах 330 – 660 м/с, V_s – 170 – 280 м/с. Суммарная мощность слоя – от 6 м до 12 м.

Второй слой представлен маловлажными глинами четвертичного возраста. V_p изменяются от 630 до 900 м/с, V_s – от 250 м/с до 470 м/с. Мощность слоя – 7 – 19 м.

Третий слой слагают влажные глины (Q). Скорости V_p находятся в пределах 950 – 1350 м/с, V_s – 430 – 680 м/с. Мощность слоя изменяется в пределах порядка 10 – 50 м.

Четвертый слой на ПР1 разделяется на два слоя по V_p : верхний подслой характеризуется скоростями V_p 1300 – 1650 м/с, в нижнем подслое значения V_p составляют 1750 – 2110 м/с. На ПР2 слой не разделяется, V_p равны 1310 – 1710 м/с. По поперечным волнам промежуточная граница не выделяется, скорости V_s в суммарном слое 600 – 1150 м/с. Суммарная мощность слоя по V_p находится в пределах 110 – 175 м, по V_s – 150 – 210 м. Слой, по-видимому, представлен в верхней части переотложенными каолинитами (Q), в нижней - разрушенными до дресвяно-глинистой массы сланцами протерозоя. Нижняя граница слоя залегает на глубине 150 – 210 м по V_p (200 – 260 м по V_s).

Пятый слой характеризуется скоростями V_p 2150 – 3400 м/с и скоростями V_s 1350 – 2200 м/с. Слой, представлен сильно и средне трещиноватыми сланцами протерозоя. Глубина залегания нижней границы слоя по ПР1 определяется в пределах 210 – 265 м, по ПР2 - 305 – 350 м. Следует отметить, что, последняя, и по большей части, предпоследняя преломляющие границы прослеживаются в последующих вступлениях, что значительно снижает точность расчета скоростных законов, и, как следствие, точность построения преломляющих границ. Увеличивать выносы пунктов возбуждения колебаний не было возможности из-за высокого уровня промышленных помех. Поэтому следует рассматривать глубину залегания двух последних границ как оценочную. Разница в вычисленных глубинах залегания кровли и подошвы трещиноватых пород протерозоя может быть вызвана также значитель-

ной анизотропии скоростей – скорости продольных и поперечных волн для глубоких границ значительно различаются по ортогональным направлениям, причем знаки различия меняются для разных границ.

Подошва пятого слоя – последняя из выделенных преломляющих границ, – характеризуется граничными скоростями V_p 3600 м/с – 5200 м/с и скоростями V_s 2450 м/с – 2650 м/с. Величины скоростей продольных и поперечных волн характерны для слаботрещиноватых и монолитных кристаллических пород [2]. В рассматриваемом случае в основании границы залегают слаботрещиноватые сланцы протерозоя.

Еще раз отметим, что поскольку массив осадочных глинистых пород подвергается значительному деформирующему влиянию выработанного пространства, деление его на сейсмогеологические слои является в значительной степени условным.

Для профилей 1 и 2 построены разрезы отношения V_s/V_p (см. рис. 3, 4). Данный параметр выбран для разрезов вместо динамического коэффициента Пуассона по причине отсутствия достоверных данных о плотностях пород в исследуемом массиве. На обоих профилях наблюдаются ярко выраженные положительные аномалии соотношения V_s/V_p – до величин порядка 0,75 и даже выше, что совершенно нехарактерно для пород в нормальном залегании. Столь необычные аномалии вызваны, вероятно, резким падением скоростей продольных волн, в зонах напряженного состояния пород над выработками. По-видимому, наблюдаются зоны осушения породного массива в местах развития повышенной техногенной трещиноватости, в связи с чем резко падают скорости продольных волн при значительно меньшем влиянии этого явления на скорости поперечных волн.

Обработка данных электротомографии заключалась в формировании файла исходных данных в формате программы 2D-инверсии «ZondRes2D» и построении структурного геоэлектрического (электротомографического) разреза по профильной линии «Дорога» (профиль 1) в реальном масштабе глубин. Из-за значительной дифференциации электрических свойств изучаемого массива горных пород, как по вертикали, так и по латерали,

электротомографический разрез приведен в значениях логарифмов удельных сопротивлений (рис. 5).

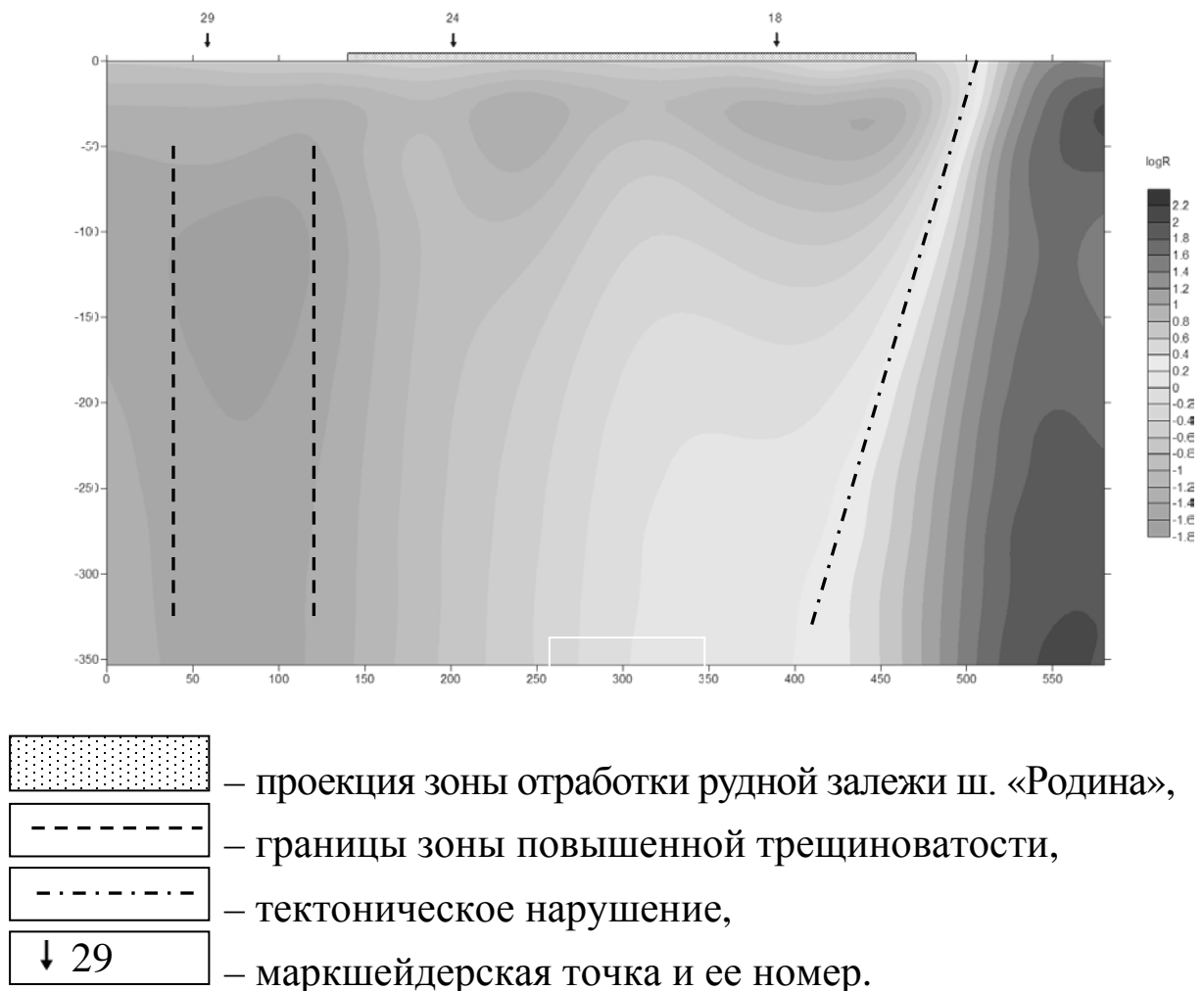


Рис. 5. Электротомографический разрез по профильной линии «Дорога»

По данным обычного пересчета измеренных значений разности потенциала в кажущиеся сопротивления ρ_k , верхняя часть разреза мощностью до 50-70 м, сложенная преимущественно покровными глинистыми отложениями, характеризуется величинами ρ_k 5-10 Ом·м. На последнем стометровом отрезке профиля, где кристаллические породы залегают на относительно малых глубинах, значения ρ_k достигают 1000 и даже 10000 Ом·м. На разносах питающих электродов свыше 460 м полученный геоэлектрический разрез характеризуется в целом значениями ρ_k 120-150 Ом·м, что явно отражает наличие в его основании выветре-

лых и монолитных пород кристаллического фундамента. Таким образом, приведенные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что выбранные методические параметры электрометрических наблюдений позволяют исследовать неоднородности внутри кристаллического массива, где и следует ожидать аномалий от влияния шахтных подработок.

На геоэлектрическом разрезе отчетливо видна низкоомная субвертикальная зона в интервале пикетов 0-170 м, примыкающая к западному (левому на рисунке) краю выработанного пространства. Этот же участок профиля 1 характеризуется пониженными значениями продольных и поперечных волн в трещиноватых породах протерозоя. По всей вероятности, процессы оседания создают зону напряженного состояния, как в глинах, так и в кристаллических породах. В результате образуется зона повышенной трещиноватости, являющаяся каналом для фильтрации подземных вод. В данной области, несомненно, существует высокая опасность подвижек и обрушения породного массива.

В восточной части профиля 1 над другим бортом выработки наблюдается наклонный контакт высокоомной области на краю электроразведочного профиля (ПК420 – ПК520) с областью средних значений удельного сопротивления в центральной части профиля 1. Эта ярко выраженная градиентная зона свидетельствует о наличии тектонического нарушения, влияние которого вследствие процессов оседания ощущается не только в кристаллических породах, но и в перекрывающих их глинистых отложениях. Данное нарушение отчетливо проявляется и на разрезах ОГТ и КМПВ.

Примененный комплекс геофизических методов показал высокую эффективность при решении весьма сложных задач, состоящих в определении глубины залегания и планового положения границ выработанного пространства и состояния породного массива над выработками. Учитывая, что выработки находятся на значительной глубине – более 1000 м, а углы падения выработанных пластов составляют около 45° , ведущая роль в комплексе принадлежит сейсморазведке МОГТ. При этом для достижения приемлемых результатов приходится применять ряд достаточно сложных методических приемов обработки данных, в частности,

методику Multifocusing [3, 4], позволяющую существенно улучшить качество прослеживания отражающих границ и дифрагирующих объектов. Выделены многослойные куполообразные структуры, возникшие в толще кристаллических пород над выработанным пространством вследствие разуплотнения и проседания породного массива. Четко обозначены границы целика между соседними выработками. В комплексе с методами КМПВ и электротомографии выделены зоны тектонической нарушенности и трещиноватости пород, представляющие повышенную опасность в плане смещения и обрушения массива.

СПИСОК ССЫЛОК

1. Выполнение геофизических работ по выявлению пустот в массиве горных пород по профилю трассы автодороги «Техбаза-кладбище «Западное» [Текст] : отчет о НТР (заключ.) / УкрНИМИ ; рук. В. В. Туманов. — 30 / 11 / 2147. — Донецк, 2011. — 57 с.
2. Физические свойства горных пород и полезных ископаемых (петрофизика). [Текст] : справ. геофизика; под ред. Н. Б. Дортман. — 2-е изд., перераб. и доп. — М.: Недра, 1984. — 455 с.
3. Gelchinsky, V., Keydar, S., 2000. Homeomorphic Imaging: Theory and Practice: Journal of Applied Geophysics 42 1999. — p. 169—228.
4. Landa, E. Gurevich. V., Keydar, S., and Trachtman, P., 1999. Application of multifocusing method for subsurface imaging : J. Appl. Geophys., 42, nos. 3, 4. — p. 283—300.